

A network diagram consisting of various sized light blue circles connected by thin white lines, set against a solid blue background. The circles vary in size and are distributed across the page, with some larger circles and many smaller ones. The lines connect these circles in a non-uniform, web-like pattern.

KWR 2019.110 | December 2019

Urban Waterbuffer: Impact Waterkwaliteit

Urban Waterbuffer: Impact Waterkwaliteit Deelrapport TKI project Urban Waterbuffer

KWR 2019.110 | December 2019

Opdrachtnummer

401580

Projectmanager

ir. J.W. (Jan Willem) Kooiman

Opdrachtgever

TKI Watertechnologie

TKI-samenwerkingspartners

KWR Water, Wareco Ingenieurs, B-E de Lier BV, Field Factors BV, Gemeente Rotterdam, Dienst Stadsbeheer, Afdeling Water, Gemeente Den Haag, Dienst Stadsbeheer, Afdeling Stedelijk Beheer, Gemeente Rheden, Hoogheemraadschap Delfland, Hoogheemraadschap Schieland en Krimpenerwaard, Evides Waterbedrijf, Stichting RIONED

Auteur(s)

Dr. K.G. (Koen) Zuurbier

T.C.G.W. (Teun) van Dooren, MSc

Kwaliteitsborger(s)

Dr. N. (Niels) Hartog

Verzonden naar

Consortium TKI UWB

Verantwoording

Deze activiteit is gefinancierd door het ministerie van Economische Zaken en Klimaat met PPS-financiering uit de Toeslag voor Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI's) en uit bijdrages van de samenwerkingspartners.

Keywords

Waterkwaliteit, Urban Waterbuffer, grondwater

Jaar van publicatie
2019

Meer informatie

T.C.G.W. (Teun) van Dooren, MSc

T +31 30 606 9563

E teun.van.dooren@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511

F +31 (0)30 60 61 165

E info@kwrwater.nl

I www.kwrwater.nl



KWR

December 2019 ©

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevens bestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder

Samenvatting

Bij het Urban Waterbufferconcept (UWB) wordt afstromend hemelwater verzameld, behandeld, opgeslagen in de bodem, en kan het bij watervraag weer onttrokken worden. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een verticale put voor infiltratie in een diepere, verzadigde zandlaag en een verticale onttrekkingsput voor latere terugwinning. De waterkwaliteit is van groot belang bij verschillende onderdelen in dit proces:

1. Bij infiltratie (operationeel): hierbij is verstopping door deeltjes en biologische groei een groot risico. Voor duurzame infiltratie is continue verwijdering van zelfs de zeer fijne delen (met een grootte van slechts enkele μm) vereist. Dit kan middels zeer fijne filtratie. Verstopping van de infiltratieput door biologische groei is daarmee nog niet uitgesloten. Verlaging van de groeipotentie van het infiltratiewater via bijvoorbeeld een langzame zandfiltratie is daarom gewenst.
2. De milieu-hygiënische kwaliteit: deze is van afstromend hemelwater doorgaans onvoldoende voor infiltratie direct in het diepe grondwater, zoals bij de UWB. Wenselijk is dat het water voldoet aan lokale achtergrondwaarden of nationale streefwaarden, al kan bij het UWB-concept juridisch ook vastgehouden worden aan de normen uit het Infiltratiebesluit bodembescherming. Inzet van langzame zandfiltratie -*(zoals Bluebloqs) of passeren van de onverzadigde zone (bijv. via een wadi) met eventueel geoptimaliseerde zuiverende eigenschappen wordt daarom aanbevolen, tenzij er met zekerheid kan worden gesteld dat het afstromende hemelwater van goede kwaliteit is.
3. Bij hergebruik na terugwinning: chemische parameters zijn relevant, zoals de zoutconcentratie wanneer het terugwinwater gebruikt wordt voor irrigatie en de ijzerconcentratie en hardheid wanneer chemische neerslagen niet gewenst zijn. Extra kritisch is echter de microbiologische waterkwaliteit: afstromend hemelwater is bewezen vervuild met pathogenen en kan daarom niet direct worden ingezet voor vele stedelijke doeleinden. Bij voldoende verblijftijd in de ondergrond kan het risico op besmettingen bij hergebruik echter sterk worden verlaagd. Bij een te verwachten blootstelling met het teruggewonnen water dient deze verblijftijd te worden gegarandeerd. Dit is goed mogelijk met keuzes in het ontwerp van de UWB.

Inhoud

Samenvatting	3
---------------------	----------

Inhoud4

1	Inleiding	5
	TKI Urban Waterbuffer	5
	Aandacht voor waterkwaliteit	5
2	Impact waterkwaliteit op putverstopping	6
	Eisen ter voorkoming van putverstopping	6
	Impact van voorzuivering op infiltratiecapaciteit bij pilots UWB	6
	Aanbevelingen met betrekking tot putverstopping	7
3	Milieu-hygiënische impact op ondergrond	8
	Eisen ter voorkoming verontreiniging grondwater	8
	Impact van voorzuivering op kwaliteit infiltratiewater tijdens de pilots UWB	8
	Aanbevelingen met betrekking tot milieu-hygiënische kwaliteit	9
4	Impact UWB op kwaliteit water voor hergebruik	10
	Eisen bij hergebruik	10
	Impact op waterkwaliteit na opslag tijdens de pilot UWB Spangen	10
	Aanbevelingen met betrekking tot hergebruik	12
5	Referenties	14

1 Inleiding

TKI Urban Waterbuffer

Stedelijke gebieden hebben steeds vaker te maken met watertekorten door langere droogte en wateroverlast door intense neerslag. Huidige oplossingen zijn gericht op afvoer en aanvoer van water. Retentie in de stad zou echter waardevol zijn om overschotten op te vangen, langere tijd vast te houden en later te gebruiken. Met de Urban Waterbuffer (UWB) wordt gestreefd om het regenwater in stedelijk gebied te zuiveren en langer vast te houden, en daarbij minimaal te conflicteren met functies aan maaiveld. Om dat te bereiken worden diepere watervoerende zandlagen gebruikt voor infiltratie, opslag en terugwinning van hemelwater via grondwaterputten.

In een TKI Watertechnologieproject heeft een breed consortium (kennisinstituut, ingenieursbureaus, uitvoerder, eindgebruikers) onderzocht of de UWB een significante positieve bijdrage kan leveren aan het voorkomen van wateroverlast en het verbeteren van de watervoorziening in de stad. In Rheden (rapport KWR2019.074) en in Rotterdam (rapport KWR2019.071) zijn respectievelijk in 2017 en 2018 proefopstellingen gerealiseerd. De bedrijfsvoering en de waterkwaliteit zijn minimaal één jaar uitgebreid gemonitord. Daarnaast zijn ook de kwalitatieve en kwantitatieve effecten op het watersysteem, de ruimtelijke inpassing en het noodzakelijke beheer gekwantificeerd.

Aandacht voor waterkwaliteit

Er is voldoende reden om aandacht te hebben voor waterkwaliteit bij het Urban Waterbufferconcept:

1. Operationeel met betrekking tot infiltratie: het water wordt met een grondwaterput in de bodem gebracht. Hierbij passeert veel water nauwe doorgangen (filterspleten en poriën tussen het zand in ondergrond). Het risico op verstopping door een inferieure waterkwaliteit is daarom hoog en voorzuivering is van belang [1]. De concentratie zwevend stof (deeltjesverstopping) en groeipotentie (biologische verstopping) zijn daarbij belangrijke parameters.
2. Milieu-hygiënisch: het water wordt direct in het grondwater geïnfilterd en mag bodem en grondwater niet verontreinigen. De chemische kwaliteit moet dus voldoen aan bepaalde eisen. Omdat het afstromend hemelwater verontreinigingen kan bevatten (met name: zware metalen, nutriënten, organische microverontreinigingen), is hier een duidelijk risico aanwezig [2].
3. Operationeel en gezondheidskundig bij hergebruik van regenwater: het geïnfilterde water wordt na opslag teruggewonnen en weer gebruikt voor verschillende doelen in de stad (niet-drinkwater in de publieke ruimte), voor deze doeleinden is een bepaalde chemische [1] en microbiële kwaliteit [3] vereist.

2 Impact waterkwaliteit op putverstopping

Eisen ter voorkoming van putverstopping

Uit eerder onderzoek zijn normen herleid voor de waterkwaliteit van infiltratiewater voor infiltratieputten (Tabel 2-1). Wanneer concentraties lager zijn dan deze norm, is geen verstopping te verwachten. Te verwachten is dat afstromend regenwater in de basis bij lange na niet voldoet aan deze normen [4], waardoor snelle verstopping te verwachten is. Er zal forse reductie van deze parameters moeten plaatsvinden om de verstoppingspotentie zodanig te verminderen dat de infiltratieputten niet binnen zeer korte tijd verstopten. De opgave is dus groot.

Tabel 2-1 Normen infiltratiewaterkwaliteit ter voorkoming van putverstopping [1]

Parameter	Eenheid	Waarde
Zwevend stof	mg/l	<0.1
Troebelheidsgraad	NTU	<1
IJzer (opgelost)	mg/l	<0.01
Assimilable organic carbon (AOC) ¹	µg acetaat-C/l	<10
Dissolved organic carbon (DOC) ²	mg/l	<2
Modified Fouling Index (MFI) [5]	s/l ²	3-5

¹Voorkeur

²Bij ontbreken metingen AOC

Impact van voorzuivering op infiltratiecapaciteit bij pilots UWB

In Rheden en Rotterdam zijn verschillende typen voorzuivering getest:

1. Rheden (beperkt volume water per infiltratieput: overstort bij hevige buien)
 - a. Bladrooster + sedimentatie
 - b. Bladrooster + extra sedimentatie
 - c. Bladrooster + extra sedimentatie + vortexstelsel (Certaro van Wavin¹)
2. Spangen (groot volume van enkele hectare oppervlak na voorgeschakelde berging, 1 infiltratiewaterput):
 - a. Bluebloqs filter²: op basis langzame zandfiltratie
 - b. Automatische terugspoeling van de infiltratieput met een debiet van 22 m³/u en een duur van 5 minuten na infiltratie van 20 m³ hemelwater.

¹ <https://www.wavin.com/nl-nl/Catalogus/Regenwater/Reinigen-en-filteren/Hydrodynamische-afscheider/Certaro1000-Put-10LS-160-H258m>

² <https://fieldfactors.com/nl/technologie>

Op basis van de waarnemingen is te concluderen dat geen van de geteste voorzuiveringen in staat is om de waterkwaliteitsnormen verstoppingsvrije infiltratie te halen. De langzame zandfiltratie presteert het best. Bij alle typen voorzuivering was er verstopping van de na-geschakelde infiltratieputten. Duidelijk was dat:

- De infiltratiecapaciteit van de put met het vortexstelsel (Rheden) veel minder achteruitgang (ca. 10% na ca. 500 m³) toonde dan de putten met alleen bladvang en normale sedimentatie (ca. 80% afname na ca. 500 m³ en niet eenvoudig te herstellen). Voor een opzet zoals in Rheden is het dus een minimale eis om grote deeltjes (fijn zand) te verwijderen.
 - Hiermee wordt echter niets gedaan aan de groeipotentie en ook fijnere zwevende delen (<75 µm) stromen alsnog de bron in.
 - Bij incidentele pieken in deeltjes en/of stroomsnelheid laat deze voorziening een groot deel van de vuillast gewoon door en verstopt de infiltratieput. Het systeem is niet echt robuust uit het oogpunt van de infiltratieput.
- De infiltratieput met het langzame zandfilter Bluebloqs als voorzuivering verloor bij infiltratie van ca. 10.000 m³ water ca. 1/3 van de infiltratiecapaciteit. Dit leek vrijwel volledig toe te schrijven aan biologische groei in en rond de put. Dat kan eenvoudig periodiek worden verholpen.
 - Verwacht mag worden dat het langzame zandfilter bij lage doorstroomsnelheid (<0.5 m/u) fijne zwevende delen verwijdert en de groeipotentie reduceert, zoals zichtbaar in de verlaging van de concentratie DOC na passeren van het filter (1 á 2 mg/l; ca. 13%). Hierdoor wordt verstopping van de infiltratieput beperkt.
 - Bij een piek in de vuillast zal het langzame zandfilter aan de bovenzijde verstopten en stroomt het water niet/minder richting de infiltratieput. Het infiltratiewater blijft echter relatief schoon en de vuillaag aan de bovenzijde kan eenvoudig worden verwijderd. Ook het debiet is goed te reguleren. Een oplossing als een langzaam zandfilter kan dus worden gezien als een robuuste bescherming van de infiltratieput.

Aanbevelingen met betrekking tot putverstopping

Gezien de inkomende waterkwaliteit is uitvoerige filtratie van het afstromende hemelwater vóór infiltratie een eis. De pilot in Rheden toont aan dat anders al bij geringe infiltratievolumes significante en moeilijk te herstellen putverstopping ontstaat. Bij voorkeur worden deeltjes met een grootte vanaf enkele µm verwijderd zodat zwevend stof, troebelheid en MFI verlaagd worden richting de normen. Langzame zandfiltratie is één van de methoden om dit te bereiken, waarbij als bijkomend voordeel ook de groeipotentie wordt verlaagd en de infiltratieput beter wordt beschermd tegen biologische verstopping.

3 Milieu-hygiënische impact op ondergrond

Eisen ter voorkoming verontreiniging grondwater

Vanuit de EU grondwaterrichtlijn wordt vereist dat achteruitgang van de grondwaterkwaliteit wordt voorkomen. Meest passend is dan ook om de infiltratiewaterkwaliteit te toetsen aan achtergrondwaarden via [2]:

1. Lokale achtergrondwaarden: indien bekend door metingen van het oorspronkelijke grondwater
2. De Circulaire streef- en interventiewaarden (2013)³: hierin zijn voor zo veel mogelijk stoffen achtergrondwaarden vastgelegd. Ook veel voorkomende organische microverontreinigingen zijn hierin vermeld met een streefwaarde. Van belang is de streefwaarde voor diep grondwater.
3. Wanneer de infiltratie in samenhang is met onttrekking is via artikel 12 van Wbb is ook het Infiltratiebesluit bodembescherming (IB) een mogelijk toetsingskader, ondanks dat deze oorspronkelijk is bedoeld voor infiltratie van oppervlaktewater voor drinkwatervoorziening [6].

Impact van voorzuivering op kwaliteit infiltratiewater tijdens de pilots UWB

In Rheden is niet gemeten aan het effect van de voorzuivering op de chemische waterkwaliteit omdat alleen grove deeltjes zijn verwijderd in zuiverende voorzieningen. Het afstromende water kwam van wegen, erven en landbouwgrond. Op basis van de waarnemingen (2 meetrondes) bleek:

- Het infiltratiewater in Rheden overschreed voor meerdere stoffen zoals metalen (Pb, Zn), nutriënten (P) en antropogene stoffen (PAKS, glyfosaat) de streefwaarden en soms zelfs de ruimere normen van het Infiltratiebesluit bodembescherming.
 - Het ging in beide meetrondes om meerdere metalen die de streefwaarden overschreden, terwijl PAKs en P in één ronde een overschrijding toonden. Iedere ronde liet 1 pesticide zien die de norm niet leek te overschrijden, maar niet dezelfde werkzame stof.
 - Afbraak van metalen en P mag niet worden verwacht, wel hechting aan de bodemdeeltjes in de ondergrond. Afbraak van PAKs en pesticiden is mogelijk, maar niet nader onderzocht.
 - Mogelijk is na het introduceren van een first-flush laat in het project de infiltratiewaterkwaliteit verbeterd. Dit is niet gevalideerd.

In Spangen is de waterkwaliteit zowel voor als na zandfiltratie vastgesteld. Zodoende is er een goed beeld van het afstromende hemelwater (voor de voorzuivering) en het infiltratiewater (na de voorzuivering). Het afstromende hemelwater komt hierbij alleen van verhard oppervlak (met name parkeerterrein). Uit de metingen (11 meetrondes) zijn de volgende zaken waargenomen:

- De concentratie zink in het afstromende water overschreed vrijwel continu de streefwaarde en tevens de norm van het IB. PAKs, xylenen en AMPA (afbraakproduct van glyfosaat) lieten incidenteel verhoogde waarden zien. De concentraties nutriënten waren al in het inkomende water voldoende laag.

³ <https://wetten.overheid.nl/BWBR0033592/2013-07-01>

- Na behandeling met het langzame zandfilter verbeterde de waterkwaliteit en voldeden de zinkconcentraties doorgaans aan de norm van het IB (deze norm werd hier gehanteerd voor zink door het bevoegd gezag), maar vaak nog niet aan de streefwaarde. Behalve naftaleen werden ook PAKs succesvol afgevangen: deze werden na het filter niet meer waargenomen. Wel werden na het zandfilter sporadisch zware metalen in verhoogde concentraties waargenomen (Hg, Cu, Mo), ondanks dat deze voor het filter vrijwel afwezig waren. De oorsprong hiervan is onbekend, mogelijk betreft dit een meetfout.
- Door insijpelend brak grondwater overschreden ook de concentraties voor Na en Cl in het afstromend hemelwater regelmatig de nationale streefwaarde en de norm van het IB, maar bleven ze ver onder de lokale achtergrondconcentraties. Ook bleven de gemiddelde Na en Cl-concentraties op afstand van de infiltratieput (afstromend infiltratiewater) beneden de landelijke streefwaarden. Door hun hoge oplosbaarheid werden ze niet verwijderd door het zandfilter.
- Ook ijzerconcentraties waren hoog in het inkomende water, al bleven de concentraties onder de lokale achtergrondwaarden. Door latere toevoeging van ijzer-gecoat zand is het adsorptievermogen van het filter vergroot zodat meer ijzer tijdens langzame zandfiltratie werd vastgelegd vóór infiltratie. Het langzame zandfilter geeft goede mogelijkheden voor het toevoegen van dergelijk extra zuiverende bestanddelen aan het filtermedium.

Aanbevelingen met betrekking tot milieu-hygiënische kwaliteit

Door de chemische kwaliteit van het afstromende hemelwater is vanuit milieu-hygiënisch oogpunt een uitvoerige voorzuivering gewenst. Concentraties in het infiltratiewater worden bij voorkeur gereduceerd tot onder de streefwaarden [2], tenzij snelle afbraak in het watervoerende pakket kan worden verwacht tijdens opslag in de ondergrond [6].

- Gezien de hechting van veel voorkomende verontreinigingen (zink, PAKs) aan fijne delen, is langzame zandfiltratie (zoals Bluebloqs) of passage van de onverzadigde zone aanbevolen (bijv. via een wadi). Zo worden fijne delen afgevangen en in ieder geval de relatief immobiele verontreinigen in ieder geval niet doordringen in diepere bodemlagen.
 - Ook biedt dit de mogelijkheid om (selectieve) adsorptie en enige afbraak te laten plaatsvinden van mobieler verontreinigingen.
 - De meest optimale werking en het functioneren op de lange termijn van een dergelijke voorzuivering zoals toegepast in de casus Rotterdam-Spangen dient nader te worden vastgesteld.
 - Microzeven (mits in staat ook zeer fijne delen van slechts enkele μm te verwijderen) bieden een compact, technisch alternatief om dezelfde mate van verwijdering van fijne delen te behalen en dus de verontreinigingen gehecht aan deeltjes te verwijderen. Echter, deze installaties zijn in beheer aanmerkelijk complexer en bieden geen verwijdering door adsorptie [7].

De gekozen zuivering in Rheden zal dus doorgaans onvoldoende zijn om concentraties in het infiltratiewater tot onder de streefwaarden te brengen. In lokale gevallen kan het zijn dat door het type omgeving en het afvoeren van de first-flush naar het vuilwaterriool gekomen wordt tot een infiltratiewaterkwaliteit die (vrijwel) voldoet aan de streefwaarden of in het uiterste geval het IB. In overleg met het bevoegd gezag kan dan worden afgeweken van de eis van uitvoerige voorzuivering.

Bij risico-afwegingen kan goed gebruik gemaakt worden van de technisch-juridische Handreiking ondergrondse waterberging van STOWA [6].

4 Impact UWB op kwaliteit water voor hergebruik

Eisen bij hergebruik

Bij hergebruik na opslag in de bodem kunnen de volgende eisen van belang zijn:

1. De zoutconcentratie van het water. Bijvoorbeeld bij irrigatie van stedelijk groen of sportvelden. Deze toegestane concentratie is afhankelijk van het gewastype, maar doorgaans is afstromend hemelwater voldoende zoet voor gebruik als irrigatiewater, zelfs wanneer vermenging met insijpelend (brak) grondwater plaatsvindt zoals bij de casus Rotterdam-Spangen.
2. De ijzerconcentratie en de hardheid (aanwezigheid van kalk) van het water. Bijvoorbeeld wanneer het water bij terugwinning in contact komt met onderdelen die niet visueel verontreinigd mogen worden. IJzer en kalk slaan neer bij respectievelijk contact met de atmosfeer en bij opdrogen en kunnen zodoende zichtbare neerslagen achterlaten.
3. De aanwezigheid van pathogenen (ziekmakers) in het water. Deze zijn doorgaans aanwezig in afstromend hemelwater en kunnen bij inname door de mens (bijvoorbeeld na verneveling van het water) zorgen voor gezondheidsklachten. Dit aspect wordt bij regenwaterconcepten nog vaak over het hoofd gezien [3]. Opslag in de bodem heeft een verlagende of zelfs geheel verwijderende werking op pathogenen afhankelijk van de verblijftijd.
4. De groeipotentie in het water. In het afstromende hemelwater zijn nutriënten en AOC ('assimilable organic carbon') aanwezig die de groei van micro-organismen kunnen stimuleren. Daardoor kan bij sommige typen van later hergebruik na-groei ontstaan (biofilms, algen). Dit kan onwenselijke zijn, zoals bijvoorbeeld bij suppletie van vijvers en het voeden van fontein. Opslag in de ondergrond kan mogelijk de groeipotentie bij hergebruik reduceren, hoewel dit tijdens de pilot in Spangen niet consistent is aangetoond.

Gebruik van het water van de Urban Waterbuffer voor drinkwater wordt niet beoogd, gezien de mogelijke risico's voor volksgezondheid en de verplichte monitoring om deze risico's te kwantificeren [8, 9]. Wel kan het zijn dat het water van de Urban Waterbuffer het gebruik van drinkwater voor niet-drinkwater doeleinden vervangt (in de stad wordt veel drinkwater gebruikt voor andere doeleinden dan drinken) en daarmee de druk op de drinkwatervoorziening reduceert.

Impact op waterkwaliteit na opslag tijdens de pilot UWB Spangen

In de casus Rotterdam-Spangen is het water na opslag in de ondergrond weer opgepompt en gebruikt:

1. Gebruik als irrigatiewater om het kunstgrasveld in het stadion van Sparta beter bespeelbaar te maken. Zowel voorafgaand aan trainingen en wedstrijden. Enige eis was dat er geen zichtbare neerslagen ontstaan.
2. Gebruik als irrigatiewater om de beplanting in het Bluebloqs filter in stand te houden in droge perioden. Eis was een lage zoutconcentratie (<150 mg/l chloride cf. de drinkwaternorm).
3. Gebruik bij een waterzuil: hier stroomde water vanaf 3 m hoogte langs een RVS plaat naar beneden, waarna het richting een 5 m verderop gelegen kolk stroomde, terug het HWA systeem in. Eis was dat de aanwezigheid van pathogenen niet leidt tot een onacceptabel risico op gezondheidsklachten.

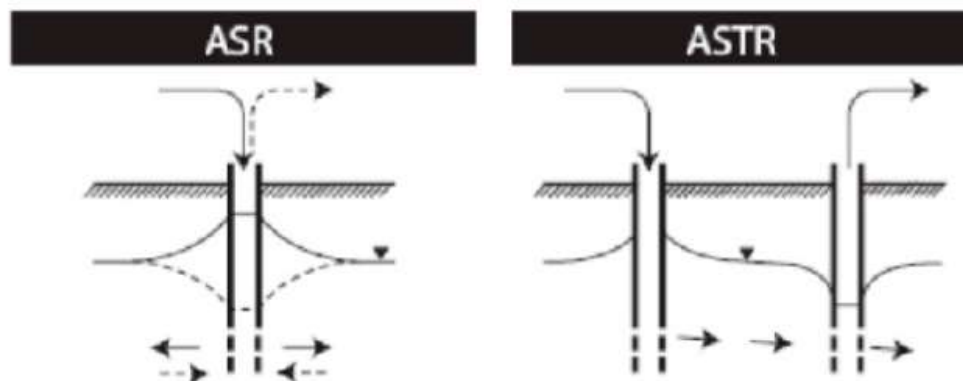


Figuur 4-1: Teruggewonnen water stroomt via de zuil naar de straat en vervolgen over de straat naar een kolk.

Met betrekking tot de gebruiksdoelen bleek tijdens de pilot:

1. Het afstromende hemelwater zoals verzameld door het hemelwaterstelsel kende sterke vermenging met insijpelend ondiep grondwater door lekkages in het regenwaterstelsel. Het bevatte daardoor een relatief hoge concentratie ijzer en een hoge hardheid. Na zuivering met het Bluebloqs filter werd de ijzerconcentratie verlaagd tot <0.5 mg/l, waarmee aan de drinkwaternorm werd voldaan. Na opslag in de bodem namen ijzerconcentraties echter toe tot >1 mg/l, met name omdat het infiltratiewater zuurstofloos was en ijzerneerslagen rondom de bron daardoor nauwelijks werden gevormd en vermoedelijk zelfs werden gebruikt voor oxidatie van DOC, waardoor ijzer in oplossing kwam. De hardheid bleef na alle tussenstappen hoog. Tot zichtbare neerslagen op het kunstgras van Sparta leidde dit echter niet. Op de waterzuil ontstonden op het RVS wel duidelijke neerslagen van ijzer. Door de buurt werd dit echter als een pluspunt gezien, doordat de zuil een meer natuurlijk uitstraling kreeg. Deze neerslagen hebben geen gezondheidsrisico's.
 - a. Betere beluchting van het water voorafgaand en/of na het zandfilter zodat hogere zuurstofconcentraties worden bereikt in het infiltratiewater, wat zal zorgen voor lagere ijzerconcentraties in het winwater (ondergrondse ontijzering).
2. De chlorideconcentratie van het winwater altijd <100 mg/l, ondanks uitschieters in het infiltratiewater, was. Door vermenging van infiltratiewater van verschillende momenten (of: 'ouderdommen') in de bodem worden pieken in de infiltratieconcentratie gedempt. Het was daarom goed mogelijk om irrigatiewater te leveren vanuit de UWB. Op basis van modellering lijkt ca. 70% van het ingebrachte water op deze locatie terugwinbaar. Het overige deel vermengt met brak grondwater op de locatie of stroomt zijwaarts af en is daarom niet terug te winnen.

3. Op basis van de waargenomen aanwezigheid van pathogenen in het afstromende hemelwater bestaat een relatief groot risico op gezondheidsklachten bij directe inzet van dit water voor irrigatie in een vol voetbalstadion, vergelijkbaar met het geaccepteerde risico bij Nederlandse open zwemwater, waarbij geaccepteerd wordt dat 5-10% van de mensen na het zwemmen ziek wordt. Een sterke verlaging van het besmettingsrisico leek te bereiken door minimaal 3 dagen opslag in de bodem toe te passen: na 3 dagen vond namelijk 1 log (factor 10) verwijdering plaats van *E.coli* en enterococci, wat er toe leidt dat het risico bij de verwachte blootstelling zeer laag is. Er kan dus gebruik worden gemaakt van het zuiverende vermogen van de bodempassage (desinfectie).
 - a. Bij Rotterdam-Spangen wordt de installatie na infiltratie van hemelwater daarom voortaan 3 dagen stopgezet zodat pathogenen beter verwijderd zijn voordat water wordt teruggewonnen. In de huidige situatie kon namelijk het laatst onttrokken water als eerst weer worden onttrokken en gebruikt, waardoor desinfectie gering zou zijn.
 - b. Als alternatief kan gekozen worden voor een verderop gelegen put voor terugwinning, zo kan ook de minimale verblijftijd in de bodem worden verhoogd (ASTR: 'aquifer storage transfer and recovery'). Een belangrijke onderzoeksvraag hierbij is nog hoe dit op een effectieve wijze ingericht kan worden bij de afwezigheid van regionale grondwaterstroming of de aanwezigheid van dichtheidsstroming in een watervoerend pakket met brak of zout grondwater.



Figuur 4-2: Verschil tussen aquifer storage and recovery (ASR) en aquifer storage transfer and recovery (ASTR). Bij de laatste variant vindt langere bodempassage en daardoor betere desinfectie plaats.

Aanbevelingen met betrekking tot hergebruik

Hergebruik van hemelwater via de Urban Waterbuffer lijkt voor veel 'stadse' doelen (niet-drinkwater) goed mogelijk. Op basis van de inzichten uit het TKI onderzoeksproject volgen de volgende gebruiksdoelen met daarbij een beschouwing van de geschiktheid en de aandachtspunten (Tabel 4-1).

Het is belangrijk om bij hergebruik van afstromend hemelwater de gezondheidsrisico's met betrekking tot de microbiële kwaliteit van het water goed te beschouwen: afstromend hemelwater heeft per definitie een hoog risico op de aanwezigheid van pathogenen. Bodempassage kan zorgen voor desinfectie, mits goed ontworpen.

Tabel 4-1: Geschiktheid van UWB water voor verschillende gebruiksdoelen.

Gebbruiksdoel	Geschiktheid	Opmerking
Drinkwater	--	Betrouwbaarheid onvoldoende te garanderen. Dure en intensieve monitoring vereist
Irrigatie stedelijk groen / sportvelden	++	Chemische kwaliteit is goed genoeg. Door bodempassage ook een lager gezondheidsrisico dan gewoon hemelwater of oppervlaktewater mits voldoende bodempassage / verblijftijd voor desinfectie is gerealiseerd.
Actief grondwaterpeilbeheer	+	Water goed inzetbaar als lokale bron voor dit doel. Aandachtspunt is ijzer: hoge concentraties in het teruggewonnen water zoals bij Spangen zijn niet wenselijk i.v.m. verstopping drains. Betere beluchting infiltratiewater vereist.
Suppletie vijvers in de stad	++	Zie case HNI Rotterdam. Goede koppeling is technisch te maken en zomerse waterkwaliteit in de vijvers kan sterk worden verbeterd.
Stadsreiniging	++	Kwaliteit en kwantiteit zijn voldoende goed, mits voldoende bodempassage / verblijftijd voor desinfectie is gerealiseerd.
Bluswater	+/-	Kwaliteit volstaat, maar aanpassingen zijn nodig om geschikte toegankelijkheid brandweer te garanderen. Men moet rekening houden met het risico op putverstopping als de onttrekkingsput voor bluswater tussentijds ook gebruikt wordt voor infiltratie. Anderzijds kan periodieke infiltratie van zuurstofhoudend water ook juist verstopping door ijzerneerslagen helpen voorkomen (ondergronds ontijzeren).
Doorspoelen opp. Water	-	Alleen bij zeer kleine watergangen is voldoende water beschikbaar te maken uit het UWB concept voor dit doel.
Stadsfonteinen	+	UWB kan geschikt zijn, mits voldoende bodempassage / verblijftijd voor desinfectie is gerealiseerd en via beluchting wordt gezorgd voor ondergrondse verwijdering van ijzer. Desinfectie is van belang omdat water wordt verneveld en er dus een besmettingsrisico is. Aanbevolen wordt om fonteinwater telkens terug te bodem in te brengen (na opnieuw doorlopen voorzuivering) en verderop weer op te pompen (recirculatie)

5 Referenties

1. Vries, D., et al., *Concepten voor snelle voorzuivering van ASR-injectiewater*. 2016, KWR: Nieuwegein. p. 33.
2. Technische Commissie Bodem, *Diepinfiltratie van afvloeiend hemelwater*. 2009.
3. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, *De 'waterkwaliteitscheck' voor nieuwe en bestaande stedelijk water concepten*. 2017. p. 74.
4. STOWA, *De feiten over de kwaliteit van afstromend regenwater*. 2007. p. 20.
5. Schippers, J.C. and J. Verdouw, *The modified fouling index, a method of determining the fouling characteristics of water*. Desalination, 1980. **32**: p. 137-148.
6. Zuurbier, K., et al., *Technisch-juridische handreiking risicobeoordeling ondergrondse waterberging*. 2015, STOWA p. 36.
7. de Waal, L., et al., *AquaNES High flow pre-treatment and infiltration system for aquifer storage and recovery with storm water runoff*. 2019. p. 137.
8. Hofman-Caris, C.H.M. and L. de Waal, *Regenwater als bron voor drinkwater; productiekosten en milieuaspecten*. 2018, KWR: Nieuwegein. p. 68.
9. Hofman-Caris, C.H.M., et al., *Regenwater als bron voor drinkwater in Nederland: weegt milieuwinst op tegen de kosten?*, in *H2O-Online*. 2018.